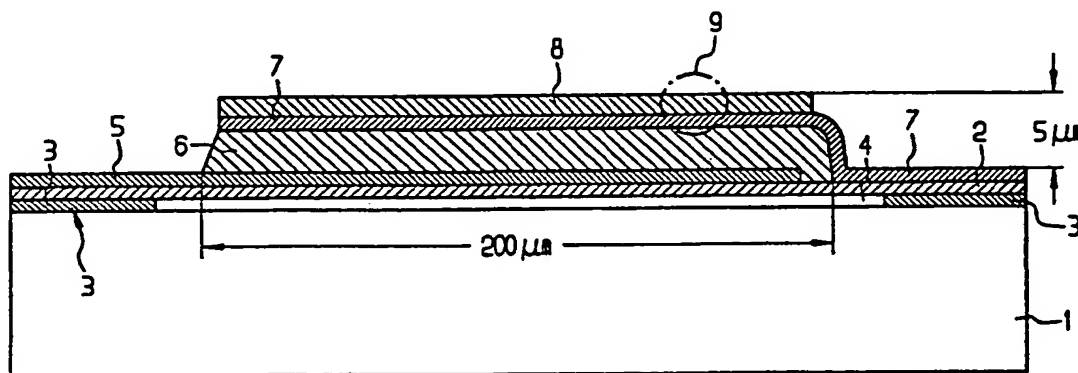


**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : H03H 9/00	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/59244 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. November 1999 (18.11.99)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/01393</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 7. Mai 1999 (07.05.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 20 755.7 8. Mai 1998 (08.05.98) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (DE/DE); Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): AIGNER, Robert [AT/DE]; Einsteinstrasse 104, D-81675 München (DE).</p> <p>(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p>

(54) Title: THIN-LAYERED PIEZO-RESONATOR

(54) Bezeichnung: DÜNNFILM-PIEZORESONATOR



## (57) Abstract

Preferably, the resonator is provided with lithographically produced holes or similar structures in the top electrode layer. The average distance between said holes or structures is shorter than the wavelength provided in order to operate each component. Said structures are preferably distributed in both an even manner to enable uniform modification of layer mass for each surface and specific adjustment of the resonance frequency or frequencies, and in an uneven manner in order to avoid the effects of diffraction.

## (57) Zusammenfassung

Der Resonator ist in der Schicht der Deckelektrode oder in einer darauf aufgetragenen Zusatzschicht mit vorzugsweise lithografisch hergestellten Löchern oder ähnlichen Strukturierungen versehen, die einen mittleren Abstand voneinander haben, der geringer ist als die vorgesehene Wellenlänge im Betrieb des Bauelementes. Diese Strukturierungen sind vorzugsweise so ausreichend gleichmäßig verteilt, daß eine gleichmäßige Änderung der Masse der Schicht pro Fläche bewirkt ist und damit eine gezielte Einstellung der Resonanzfrequenz(en) erfolgt, und andererseits so unregelmäßig verteilt, daß Beugungseffekte vermieden werden.

# LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LJ	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

## Dünnschicht-Piezoresonator

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Dünnschicht-Piezoresonator, der mit den Methoden der Mikromechanik herstellbar ist.

Die Resonanzfrequenz von Dünnschicht-Piezoresonatoren im Frequenzbereich über 500 MHz ist indirekt proportional zur Schichtdicke der Piezoschicht. Die Trägermembran sowie die Boden- und Deckelektroden stellen eine zusätzliche Massenbelastung für den Resonator dar, die eine Reduzierung der Resonanzfrequenz bewirkt. Die Dickenschwankungen in allen diesen Schichten bestimmen den Bereich der Fertigungstoleranzen, in dem die Resonanzfrequenz eines Exemplars des Resonators liegt. Für Sputterprozesse in der Mikroelektronik sind Schichtdickenschwankungen von 5 % typisch, mit erheblichem Aufwand können 1 % erreicht werden. Schwankungen treten sowohl statistisch von Scheibe zu Scheibe als auch systematisch zwischen Scheibenmitte und Rand auf. Für Filter im GHz-Bereich müssen die Resonanzfrequenzen einzelner Resonatoren zumindest eine absolute Genauigkeit von 0,5 % aufweisen.

- 25 Für hochselektive Filter müssen mehrere Resonatoren in Leiter-, Gitter- oder Parallelkonfiguration verschaltet werden. Die individuellen Resonatoren müssen gezielt zueinander verstimmt werden, um die gewünschte Filtercharakteristik zu erreichen. Vorzugsweise werden aus Kostengründen alle Resonatoren eines Filters aus einer Piezoschicht konstanter Dicke hergestellt; die Frequenzabstimmung erfolgt durch additive Schichten auf den Deckelektroden. Für jede vorkommende Resonanzfrequenz muß eine Zusatzschicht unterschiedlicher Dicke hergestellt werden. Das erfordert jeweils einen Abscheide- oder Ätzschritt, verbunden mit einem Lithografieschritt. Um diesen Aufwand zu begrenzen, werden üblicherweise nur Filter-

topologien hergestellt, mit denen nur zwei Resonanzfrequenzen eingestellt werden.

Die Resonanzfrequenz von Dünnfilm-Piezoresonatoren kann  
5 grundsätzlich dadurch getrimmt werden, daß Zusatzschichten  
wie oben beschrieben aufgebracht werden, was aber eine auf-  
wendige Lithografie erforderlich macht. Mit Laser-Trimmen  
oder Ionenstrahltrimmen läßt sich ganzflächig Material abtra-  
10 gen, was die Masse der Deckelschicht verringert, aber einen  
teuren Fertigungsschritt am Ende des Fertigungsprozesses er-  
forderlich macht. Mit angeschlossenen Kapazitäten oder einer  
angelegten Gleichspannung kann die Resonanzfrequenz zwar ver-  
schoben werden; der Trimbereich ist aber vergleichsweise  
eng. Das gleiche gilt für thermisches Trimmen durch Aufheizen  
15 des Resonators.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Dünnfilm-  
Piezoresonator anzugeben, der mit einfachen Mitteln und hoher  
Genauigkeit auf eine vorgegebene Resonanzfrequenz eingestellt  
20 werden kann. Außerdem soll angegeben werden, wie sich auf  
einfache Weise mehrere Resonanzfrequenzen einstellen lassen.

Diese Aufgabe wird mit dem Dünnfilm-Piezoresonator mit den  
Merkmale des Anspruches 1 bzw. mit der Anordnung mit den  
25 Merkmalen des Anspruches 7 gelöst. Ausgestaltungen ergeben  
sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Der erfindungsgemäße Dünnfilm-Piezoresonator ist in der  
Schicht der Deckelelektrode oder in einer eigens dafür aufge-  
30 brachten Zusatzschicht mit vorzugsweise lithografisch herge-  
stellten Löchern oder ähnlichen Strukturierungen versehen,  
die einen mittleren Abstand voneinander haben, der geringer  
ist als die vorgesehene akustische Wellenlänge im Betrieb des  
Bauelementes. Diese Strukturierungen sind vorzugsweise so  
35 ausreichend gleichmäßig verteilt, daß eine gleichmäßige Ände-  
rung der Masse der Schicht pro Fläche (Flächendichte) bewirkt  
ist und damit eine gezielte Einstellung der Resonanzfre-

quenz(en) erfolgt, und andererseits so unregelmäßig verteilt, daß Beugungseffekte vermieden werden.

Es folgt eine genauere Beschreibung des erfindungsgemäßen Dünnschicht-Piezoresonators anhand der Figuren 1 bis 3.

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Resonators im Querschnitt.

Figur 2 zeigt den in Figur 1 gekennzeichneten Ausschnitt in einer Vergrößerung.

Figur 3 zeigt die Strukturierung der oberen Schicht in Aufsicht.

Figur 1 zeigt ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Resonators im Querschnitt. Auf einem Substrat 1 befindet sich eine Trägerschicht 2, die vorzugsweise Polysilizium ist und unter der sich im Bereich einer als Resonator vorgesehenen Schichtstruktur ein Hohlraum 4 in einer Hilfsschicht 3 z. B. aus Oxid befindet. Der Hohlraum besitzt typisch die eingezeichnete Abmessung von etwa 200 µm. Auf der Trägerschicht 2 befindet sich die Schichtstruktur des Resonators aus einer für die Bodenelektrode vorgesehenen unteren Elektrodenschicht 5, einer Piezoschicht 6 und einer für die Deckelektrode vorgesehenen oberen Elektrodenschicht 7. Die Elektrodenschichten 5, 7 sind vorzugsweise Metall, und die Piezoschicht 6 ist z. B. AlN, ZnO oder PZT-Keramik (PbZrTi). Diese Schichtstruktur besitzt insgesamt typisch die eingezeichnete Dicke von etwa 5 µm.

Erfindungsgemäß sind in der oberen Elektrodenschicht 7 oder einer weiteren darauf aufgetragenen und im folgenden als Zusatzschicht 8 bezeichneten Schicht vorzugsweise fotolithographisch hergestellte Ätzstrukturen vorhanden, die die Resonanzfrequenz oder mehrere unterschiedliche Resonanzfrequenzen in der vorgesehenen Weise festlegen. In dem in der Figur 1 dargestellten Beispiel befinden sich diese Ätzstrukturen in einer Zusatzschicht 8.

*Abbildung*

Figur 2 zeigt den in Figur 1 mit einem Kreis 9 bezeichneten Ausschnitt in einer Vergrößerung, in der die Struktur der Zusatzschicht 8 auf der oberen Elektrodenschicht 7 und der Piezoschicht 6 erkennbar ist. Die Zusatzschicht 8 ist in diesem Beispiel durch eine Vielzahl von Löchern 10 perforiert. Über die Dichte der Verteilung dieser Löcher 10 ist die effektive Massenbelastung des Resonators und damit die Resonanzfrequenz gezielt eingestellt. Bei einer Frequenz von 1 GHz liegt die akustische Wellenlänge gängiger Dünnschicht-Piezomaterialien im Bereich von 5  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$ . Sind die Löcher der Perforation und deren Abstand deutlich kleiner als die akustische Wellenlänge, so ist die Perforation für die akustische Welle unscharf und bewirkt keine Streuung der Welle; die Perforation wirkt auf die Welle als Änderung der mittleren Dichte des Materials. Ein weiterer Vorteil, der erzielt wird, ist die Streuung höherer Moden des Resonators an den Löchern, so daß der unerwünschte Einfluß dieser Moden auf die Filtercharakteristik abnimmt.

Figur 3 zeigt die Zusatzschicht 8 in Aufsicht, so daß die Lage der Löcher 10 (hier näherungsweise quadratisch) erkennbar ist. Statt einzelner Löcher in der Zusatzschicht 8 können zusammenhängende Zwischenräume vorhanden sein, die z. B. den gesamten Bereich zwischen den in Figur 3 dargestellten quadratischen Bereichen 10 einnehmen. Diese Bereiche bilden dann Inseln 10 aus dem Material der Zusatzschicht 8. Wesentlich ist an der vorhandenen Strukturierung, daß die ausgesparten Bereiche der strukturierten Schicht bzw. die verbliebenen Inseln so angeordnet sind, daß die gewünschte Einstellung der Resonanzfrequenz erreicht wird. Falls die Strukturierung direkt in der oberen Elektrodenschicht 7 vorhanden ist, empfiehlt es sich, von dieser Elektrodenschicht 7 alles bis auf Löcher von etwa der Größe und Anordnung, wie sie in der Figur 3 dargestellt sind (Löcher 10), stehenzulassen.

Durch gezielte und ggf. (z. B. unter Verwendung von Steppern) örtlich variierende Über- oder Unterbelichtung bei der Litho-

5 grafie können bei der Herstellung des Resonators Schwankungen der Schichtdicke ausgeglichen werden. Beliebige Resonanzfrequenzen können ohne Zusatzaufwand mit mehreren entsprechend ausgeführten Resonatoren auf demselben Chip realisiert werden. Bei der Herstellung brauchen dafür nur der Abstand und die Größe der Löcher in der für die Lithografie verwendeten Maske verändert zu werden. Insbesondere Filter mit parallelen Resonatoren und Filterbänke zur Auftrennung von Frequenzbändern lassen sich so einfach realisieren.

## Patentansprüche

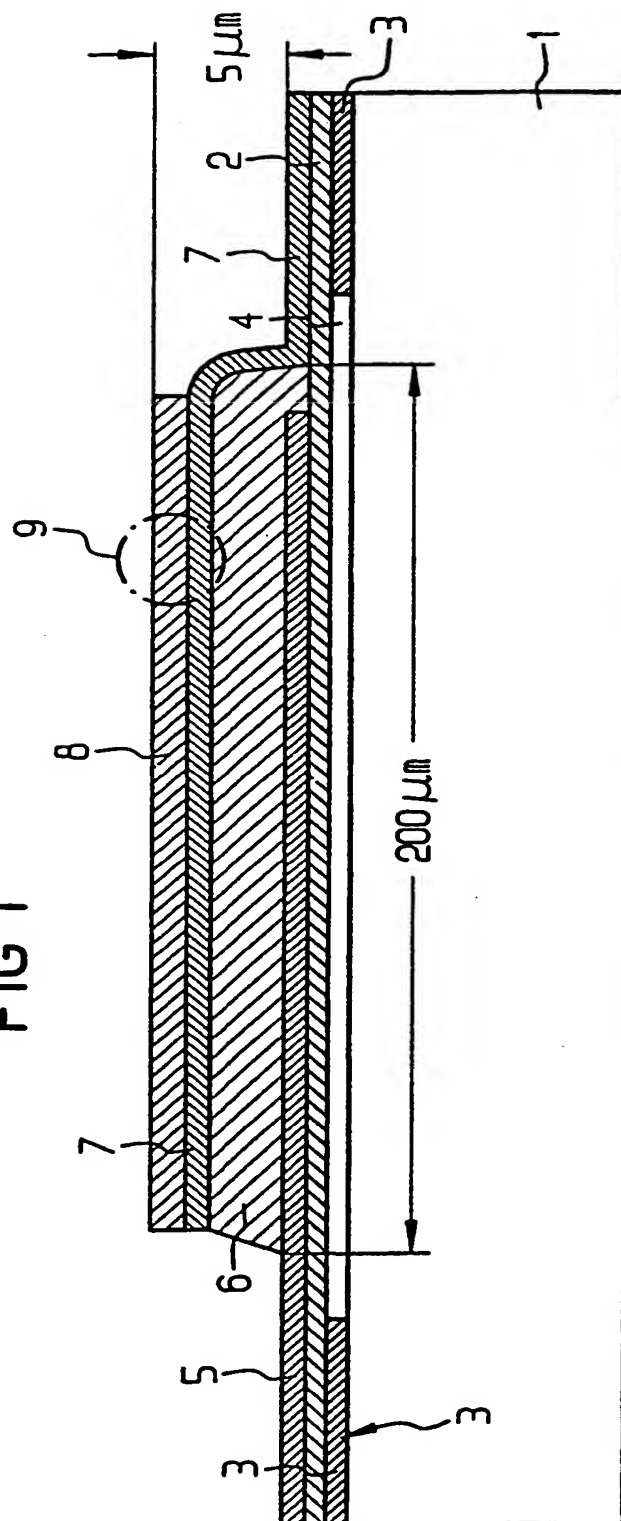
1. Dünnfilm-Piezoresonator mit einer Piezoschicht (6) zwischen einer unteren Elektrodenschicht (5) und einer oberen  
5 Elektrodenschicht (7),  
bei dem in der oberen Elektrodenschicht (7) oder in einer darauf aufgebracht Zusatzschicht (8) eine Strukturierung vorhanden ist und  
bei dem diese Strukturierung so beschaffen ist, daß durch die  
10 damit bewirkte Änderung der mittleren Dichte der betreffenden Schicht (7; 8) eine vorgesehene Resonanzfrequenz eingestellt ist.
2. Dünnfilm-Piezoresonator nach Anspruch 1,  
15 bei dem eine Zusatzschicht (8) auf der oberen Elektroden-  
schicht (7) vorhanden ist und  
bei dem die Strukturierung in dieser Zusatzschicht (8) vorhanden ist.
- 20 3. Dünnfilm-Piezoresonator nach Anspruch 1 oder 2,  
bei dem die Strukturierung Löcher (10) umfaßt und  
bei dem der Abstand zwischen je einem dieser Löcher und dem dazu nächstgelegenen Loch geringer ist als eine für den Betrieb des Resonators vorgesehene Wellenlänge.
- 25 4. Dünnfilm-Piezoresonator nach Anspruch 2,  
bei dem die Strukturierung Inseln (10) umfaßt und  
bei dem der Abstand zwischen je einer dieser Inseln und der dazu nächstgelegenen Insel geringer ist als eine für den Betrieb des Resonators vorgesehene Wellenlänge.  
30
5. Dünnfilm-Piezoresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
bei dem die Strukturierung so unregelmäßig ist, daß Beugungserscheinungen vermieden sind.



6. Dünnfilm-Piezoresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
bei dem die Piezoschicht (6) ein Material aus der Gruppe von  
AlN, ZnO und PZT-Keramik ist,  
5 bei dem die Piezoschicht (6) und die Elektrodenschichten (5,  
7) auf einer Trägerschicht (2) aus Polysilizium angeordnet  
sind und  
bei dem auf der von der unteren Elektrodenschicht (5) abge-  
wandten Seite dieser Trägerschicht ein Hohlraum (4) vorhanden  
ist.
- 10 7. Anordnung aus mehreren Dünnfilm-Piezoresonatoren nach je  
einem der Ansprüche 1 bis 6,  
bei der die Resonatoren auf demselben Chip angeordnet sind  
und
- 15 bei der die Resonatoren auf mindestens drei verschiedene Re-  
sonanzfrequenzen eingestellt sind.

1/2

FIG 1



2/2

FIG 2

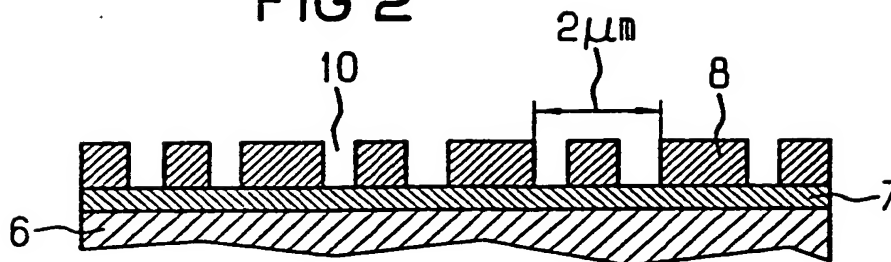


FIG 3

